

METODA BARU UNTUK DEKONTAMINASI BAKTERI DENGAN PLASMA NON TERMAL PADA TEKANAN ATMOSFER

(New Method for Bacterial Decontamination by Using Atmospheric Non Thermal Plasma)

Muhammad Nur^{1,2}, M.G. Isworo Rukmi³, dan Komariyah¹

1. *Devisi Aplikasi Fisika Plasma, Laboratorium Fisika Atom dan Nuklir, Jurusan Fisika FMIPA UNDIP*
2. *Pusat Studi Aplikasi Radiasi dan Rekayasa Bahan, LEMLIT UNDIP*
3. *Laboratorium Mikrobiogenika, Jurusan Biologi FMIPA UNDIP*

Abstract

New method for bacteria decontamination by using glow discharge corona non-thermal atmospheric plasma has been developed and tested. Plasma was generated in a reactor plasma positive corona with electrodes geometry point to plan configuration. Point electrode. This plasma has been generated in air with threshold corona voltage was 3.0 kV inter electrodes distance was 0.4 cm and current was 1.5 mA. Sterilization test has been done by bacteria Escherichia coli decontamination. These bacteria were planted in EA (Merck) medium glass cup with diameter of 10 cm. Corona glow discharge plasma decreased number of microorganism coloni (CFU/ml) in the surface of cup. The result shown that this system killed 96.8 % of bacteria population after 100 second of plasma radiation. The energy consumption of plasma decontamination system was smaller than energy consumption of UV decontamination.

Intisari

Suatu metoda baru untuk melakukan dekontaminasi bakteri dengan menggunakan plasma pijar non termik pada tekanan atmosfer telah dikembangkan dan diuji, plasma dibangkitkan dalam sebuah reactor korona positif dengan konfigurasi elektroda titik-bidang. Plasma tersebut dibangkitkan di udara dengan tegangan ambang korona sebesar 3.0 kV, jarak antar elektroda 0,4 cm dan arus sebesar 1,5 mA. Pengujian sterilisasi telah dilakukan dengan menggunakan dekontaminasi bakteri Escherichia coli. Bakteri-bakteri ini dibiakkan dalam medium EA(merck) berbentuk mangkuk yang diameternya 10 cm. plasma lucutan pijar korona menurunkan jumlah koloni mikroorganisme (CFU/ml) pada permukaan mangkuk. Hasilnya menunjukkan bahwa system sterilisasi ini mampu membunuh 96,8% dari populasi bakteri setelah radiasi plasma selama 100 detik. Hasil lain juga diperoleh bahwa konsumsi energi dari system dekontaminasi dengan plasma jauh lebih kecil dibandingkan dengan energi untuk dekontaminasi UV.

PENDAHULUAN

Sejak penghujung dasawarsa 90-an, kebutuhan akan suatu pendekatan baru terhadap metoda sterilisasi yang bekerja pada temperatur rendah dan mempunyai tingkat disinfeksi yang tinggi sangat dirasakan (Young, 1997; Montie et al, 2000). Kebutuhan ini sangat terasa pada bidang kesehatan (medis), industri makanan, ventilasi, dan industri *air condition* (AC). Bidang-bidang ini merupakan bidang yang sangat dinamis mencari peningkatan-peningkatan pasteurisasi, disinfeksi dan teknologi-teknologi sterilisasi. Teknologi yang dicari adalah teknologi yang mampu bekerja dengan baik pada suhu yang rendah dan tidak merusak material-material yang sangat sensitif terhadap pengaruh termik.

Dalam bidang medis misalkan, masih dibutuhkannya sistem sterilisasi termperatur

rendah yang mampu membasmi bervariasi mikroorganisme yang tergolong dalam *gram negative bacteria*, *gram positive bacteria* dan *yeast*. Bidang medis inilah bidang yang setiap saat mengalami kontaminasi oleh berbagai jenis bakteri dan yeast. Mikroorganisme ini menempati permukaan peralatan medis (*health care facilities*) pada hampir semua tempat di rumah sakit. Peralatan-peralatan tersebut kini banyak yang terbuat dari bahan-bahan yang tidak tahan terhadap termik seperti plastik, kertas, dll.

Teknik dekontaminasi konvensional yang selama ini dan umum digunakan adalah dengan pemanasan diatas suhu 150° C, sehingga sangat terbatas penggunaannya. Teknik lain yang dikenal adalah dengan menggunakan arus listrik d.c. dan a.c., namun sel yang terbunuh oleh pulsa medan listrik

tidak hancur, dan spora bakteri, lumut relatif tidak sensitif untuk pulsa tegangan tinggi (Brimingham, 2000).

Selain itu teknik dekontaminasi dengan menggunakan radiasi dan sejumlah unsur anti jasad renik. Radiasi dan unsur anti jasad renik tersebut berfungsi untuk merusak DNA. Teknik ini meliputi radiasi pengion (sinar Gamma), sinar ultra ungu dan zat-zat kimia reaktif DNA. Kerusakan DNA yang ditimbulkan karena penyinaran atau secara kimiawi, mematikan sel terutama karena mengganggu replikasi DNA. Akan tetapi, teknik sterilisasi tersebut memiliki beberapa kelemahan antara lain; terjadi denaturasi protein, mempengaruhi cita rasa makanan dan bentuk-bentuk spora bakteri (*gram positive bacteria*) masih ada. Selain itu radiasi Gamma yang menggunakan zat radioaktif, tidak dapat digunakan secara meluas karena diperlukan prosedur standar yang agak rumit dalam hal keamanannya. Desinfeksi kimia hanya berhasil dalam batas-batas kelembaban yang relatif sempit (Jawetz *et al.*, 1996, Herrmann, 2002).

Brimingham (2000) melaporkan bahwa dekontaminasi mikroorganisme dengan plasma non termik pada temperatur ruang dan tekanan kamar, dapat mengurangi jumlah pembentukan koloni per unit dari beberapa mikroorganisme pada permukaan.

Plasma lucutan pijar korona adalah salah satu jenis plasma non termik dan merupakan sumber ion, electron dan radikal bebas (Nur, 1997; Nur, et al., 1996). Ketika ion yang dihasilkan oleh plasma lucutan pijar korona mengenai suatu sel bakteri maka akan terbentuk radikal bebas hidrogen, gugus hidroksil yang radikal dan beberapa peroksida yang dapat menyebabkan beberapa jenis kerusakan dalam sel (Black, 1999). Setiap molekul reaktif tersebut mampu menurunkan dan merubah biopolimer seperti asam deoksiribonukleat (*DNA/deoxyribonucleic acid*) dan protein. Ion dapat berinteraksi langsung dengan DNA sehingga menyebabkan pecahnya ikatan polimer. Ionisasi dan penurunan (degradasi) molekul penting dalam materi biologi seperti DNA dan protein enzim memicu terjadinya kematian pada sel (Parker, 1997).

Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri *E. coli*. Morfologi bakteri *E. coli* berbentuk batang pendek berukuran 2,4 μm x 0,4 - 0,7 μm . Pelczar

(1986) menyatakan bahwa *E. coli* merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang pendek dan biasanya tunggal atau berpasangan. *E. coli* ada yang bergerak menggunakan flagel yang peritrik tetapi ada pula yang tidak bergerak. Sejumlah strain memiliki kapsula dan ada yang berupa mikrokapsula. *E. coli* mudah tumbuh dalam medium nutrisi sederhana. Koloni pada medium agar tampak halus, cekung, basah dan permukaannya berkilat. Sifat bakteri ini aerob atau fakultatif aerob dan tumbuh pada pembenihan biasa, suhu optimum yaitu 37°C, pH mendekati netral yaitu 4 sampai 8. *E. coli* termasuk famili Enterobacteriaceae. Bakteri dalam kelompok ini tumbuh pada kondisi aerobik maupun anaerobik. Pada kondisi aerobik bakteri ini mengoksidasi asam amino, sedangkan jika tidak terdapat O₂ metabolismenya menjadi bersifat fermentatif. Energi diproduksi dengan cara memecah gula menjadi asam organik. Hampir semua spesies dalam kelompok ini dapat tumbuh pada medium sederhana pada kisaran pH dan suhu yang luas, yaitu pada suhu kurang dari 10°C sampai lebih dari 40°C (Fardiaz, 1992).

E. coli merupakan organisme yang terdapat secara normal dalam alat pencernaan manusia dan hewan. *E. coli* yang menyebabkan penyakit pada manusia disebut *Enteropathogenic Escherichia coli* (EPEC). Ada dua golongan *E. coli* penyebab penyakit pada manusia. Golongan pertama disebut *Enterotoxigenic Escherichia coli* (ETEC) yang mampu menghasilkan enterotoksin dalam usus kecil dan menyebabkan penyakit seperti kolera. Waktu inkubasi penyakit ini 8-24 jam dengan gejala diare; muntah-muntah dan dehidrasi serupa dengan kolera. Golongan kedua disebut *Enteroinvasive Escherichia coli* (EIEC). Sel-sel *E. coli* ini mampu menembus dinding usus dan menimbulkan kolitis (radang usus besar) atau gejala seperti disentri. Waktu inkubasi 8-44 jam (rata-rata 26 jam) dengan gejala demam, sakit kepala, kejang perut dan demam berdarah.

Makalah ini membahas pengaruh waktu penyinaran species plasma lucutan pijar korona pada tekanan atmosfer dan temperatur ruang untuk dekontaminasi bakteri *E. coli* pada permukaan gelas (cawan petri) dan sel bakteri ditanam pada medium Endo Agar (Merck). Juga dibahas keunggulan teknik dekontaminasi dengan menggunakan plasma

dibandingkan dengan teknik penyinaran dengan Ultra Violet.

METODE PENELITIAN

Plasma lucutan pijar korona sebagai sumber ion dan radikal yang dapat digunakan untuk dekontaminasi bakteri dan dibangkitkan dalam reaktor konfigurasi geometri titik-bidang (Nur. Dkk. , 2004). Elektroda titik dikenakan tegangan positif dan elektroda bidang dikenakan tegangan negatif, sehingga korona yang terbentuk adalah korona positif (tegangan sebesar 3,0 kV dan jarak antar elektroda 0,4 cm). Elektron yang bergerak dari katoda (elektroda bidang) menuju anoda akan menumbuk atom-atom gas diantara elektroda, sehingga atom-atom gas akan terionisasi. Ion-ion yang dihasilkan akan bergerak menuju katoda karena adanya medan listrik, sedangkan elektronnya akan mengalir menuju anoda. Bakteri *E. coli* yang ditanam dengan medium Endo Agar (Merck) pada cawan petri dan diletakkan di katoda, sehingga ion akan masuk ke dalam substrat dan menimbulkan kematian.

a. Sterilisasi peralatan penelitian

Penelitian ini diawali dengan sterilisasi alat-alat yang terbuat dari kaca seperti cawan petri, tabung reaksi, erlenmeyer, gelas ukur, pipet ukur, kaca pengaduk. Seluruh alat disterilkan di dalam oven pada suhu 180°C selama 2 jam. Alat-alat seperti jarum preparat dan ose disterilkan dengan pembakaran langsung di atas lampu spiritus. Akuades dan medium ditempatkan di dalam erlenmeyer dalam jumlah tertentu disumbat dengan kapas, di bungkus dengan kertas dan diikat dengan karet. Disterilkan dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15-20 menit dengan tekanan 2 atm. Gelas penutup dan gelas benda disterilkan secara kimia dengan menggunakan larutan alkohol 90 % dan dipanaskan di atas lampu spiritus.

b. Medium pembiakan bakteri

Medium yang digunakan pada penelitian yaitu medium Nutrient Agar (Merck), medium Nutrient Broth (Merck), dan medium Endo Agar (Merck). Bahan medium ditimbang dan dilarutkan dalam akuades menurut komposisi dari masing-masing medium, lalu dipanaskan di atas *hot plate*. Selanjutnya semua medium disterilkan di dalam autoklaf dengan

tekanan 2 atm pada suhu 120° C selama 15-20 menit.

d) Penghitungan jumlah sel/ml

Bakteri *E. coli* dari kultur induk pada medium Nutrien Agar diinokulasikan pada media miring Nutrient Agar, diinkubasi pada suhu kamar selama 24 jam. Satu ose biakan bakteri ini selanjutnya diinokulasikan pada 50 ml medium Nutrient Broth dan diinkubasi pada suhu kamar selama 10 jam. Kerapatan sel diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm sampai diperoleh transmisi 70 % ($1,0 \times 10^8$ sel/ml).

Fardiaz (1992) mengatakan bahwa untuk menghitung jumlah bakteri dapat digunakan beberapa cara. Cara pertama yaitu penghitungan Jumlah bakteri secara keseluruhan (*total cell count*) baik bakteri yang hidup maupun mati. Cara kedua yaitu penghitungan Jumlah bakteri yang hidup (*viable count*).

Penghitungan jumlah mikroorganisme dengan cara *viable count* atau disebut juga *standard plate count* didasarkan pada asumsi bahwa setiap sel mikroorganisme hidup dalam suspensi akan tumbuh menjadi satu koloni setelah diinkubasikan dalam media biakan dan lingkungan yang sesuai. Setelah masa inkubasi, jumlah koloni yang tumbuh dihitung dan merupakan perkiraan atau dugaan dari jumlah mikroorganisme dalam suspensi tersebut. Penghitungan jumlah mikroorganisme hidup (*viable count*) adalah jumlah minimum mikroorganisme. Hal ini disebabkan koloni yang tumbuh pada lempengan agar merupakan mikroorganisme yang dapat tumbuh dan berbiak dalam media dan suhu inkubasi tertentu.

Koloni yang tumbuh tidak selalu berasal dari satu sel mikroorganisme, karena beberapa mikroorganisme tertentu cenderung untuk berkelompok atau berantai. Bila ditumbuhkan pada media dan lingkungan yang sesuai kelompok bakteri ini hanya akan menghasilkan satu koloni. Berdasarkan hal tersebut sering kali digunakan istilah *colony forming units* (CFU/ml) untuk penghitungan jumlah mikroorganisme hidup. Lempeng agar yang mengandung 30-300 koloni saja yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam perhitungan. Lempeng agar dengan jumlah koloni yang tinggi (>300 koloni) sulit untuk dihitung sehingga kemungkinan kesalahan

perhitungan sangat besar. Pengenceran sampel membantu untuk memperoleh penghitungan jumlah yang benar, namun pengenceran yang terlalu tinggi akan menghasilkan lempeng agar dengan jumlah koloni yang rendah (<300 koloni). Lempeng demikian tidak absah secara statistik untuk digunakan dalam penghitungan (Fardiaz,1992).

Penghitungan jumlah bakteri yang paling umum adalah dengan cara pengenceran. Cara ini dipakai untuk menentukan jumlah bakteri yang hidup saja. Dasar perhitungan yaitu mengencerkan suatu bahan sejumlah volume tertentu secara bertingkat kemudian diinokulasikan ke dalam medium dan diinkubasi, selanjutnya diamati ada tidaknya pertumbuhan koloni bakteri (Volk dan Wheller, 1988).

e) Uji dekontaminasi

Satu ml kultur bakteri *E. coli* berumur 48 jam dengan kerapatan $1,0 \times 10^8$ sel/ml diinokulasikan pada medium EA dalam cawan petri, sebanyak 24 cawan. Penyinaran plasma 0 (kontrol), 20, 40, 60, 80, dan 100 detik dengan masing-masing 4 petri untuk setiap perlakuan. Semua cawan diinkubasi pada suhu $37,1^\circ\text{C}$ selama 48 jam, selanjutnya dihitung jumlah koloni bakteri yang muncul. Tahap perlakuan diulang 3 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses dekontaminasi bakteri *E. coli* dengan plasma lucutan pijar korona dilakukan dengan 6 perlakuan dan 4 pengulangan. Pada masing-masing perlakuan, dilakukan variasi waktu lamanya penyinaran plasma. Variasi waktu penyinaran plasma dimulai dari 0, 20, 40, 60, 80, dan 100 detik. Pada perlakuan 0 detik bakteri tidak disinari plasma tetapi bakteri hanya dimasukkan dalam reaktor plasma, perlakuan ini merupakan perlakuan kontrol. Bakteri *E. coli* yang akan disinari plasma ditanamkan pada medium Endo Agar (Merck) pada cawan petri yang terbuat dari gelas, sebanyak 1 ml suspensi *E.coli* berasal dari suspensi kultur bakteri dengan kerapatan $10^6/\text{ml}$.

Sumber tegangan tinggi yang digunakan adalah sumber tegangan d.c. Besarnya tegangan pembangkit plasma yang digunakan tetap/stabil untuk setiap perlakuan yaitu sebesar 3,0 kV.

Terjadinya plasma lucutan pijar korona ditandai dengan adanya bunyi berdesis diantara elektroda disertai pancaran (emisi) cahaya tampak. Warna lucutan yang terjadi di udara bebas adalah warna ungu kebiruan (ungu muda). Tegangan yang diperlukan untuk mulai terjadinya plasma lucutan pijar korona disebut tegangan ambang korona. Tegangan ambang ini dipengaruhi oleh jarak antar elektroda. Semakin jauh jarak antar elektroda, maka tegangan ambang juga semakin besar. Berdasarkan penelitian Guntoro (1999) diketahui bahwa pada jarak 0,4 cm diperlukan tegangan ambang korona sebesar 3,0 kV. Tegangan ambang yang digunakan dalam penelitian ini sama dengan penelitian Guntoro (1999), yaitu sebesar 3,0 kV dengan jarak antar elektroda 0,4 cm.

Pembentukan plasma lucutan pijar korona pada jarak antar elektroda tertentu memerlukan tegangan ambang tertentu, karena elektron-elektron harus mempunyai energi yang cukup untuk mengionisasi atom-atom gas yang ada diantara elektroda. Semakin jauh jarak antar elektroda, maka semakin besar beda tegangan yang diberikan pada elektroda agar terjadi plasma lucutan pijar korona.

Lucutan pijar yang terjadi diujung-ujung jarum kurang serempak dan mempunyai intensitas yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh posisi antara jarum (elektroda titik) dan plat besi (elektroda bidang) tidak benar-benar saling tegak lurus. Penambahan tegangan setelah tercapai tegangan ambang mengakibatkan tegangan yang terbaca pada voltmeter menurun dan arus meningkat dengan tajam. Tegangan pada penelitian ini menurun sampai 0.8 kV dan arus meningkat dengan tajam melebihi 2 mA. Angka ini menandakan telah terjadi lucutan arc.

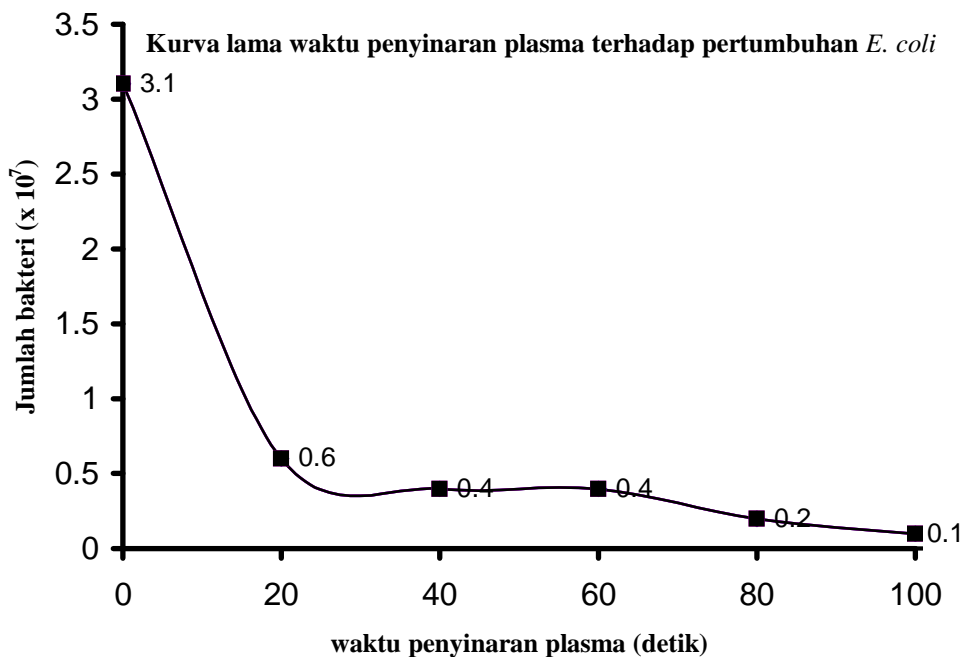
Dekontaminasi *E. coli* dengan Penyinaran Plasma Lucutan Pijar Korona

Hasil uji dekontaminasi *E. coli* dengan plasma lucutan pijar korona dapat ditunjukkan pada Gambar 1. Grafik tersebut menunjukkan bahwa jumlah bakteri yang hidup semakin berkurang sejalan dengan penambahan waktu penyinaran plasma.

Lama waktu penyinaran plasma berkorelasi positif dengan pengurangan jumlah bakteri. Perlakuan penyinaran plasma 0, 20, 40, 60, 80 dan 100 detik mengakibatkan pengurangan jumlah bakteri *E. coli* secara

linier berturut-turut sebesar 0, 80.6, 87.1, 87.1, 93.5 dan 96.8 %. Jumlah bakteri yang hidup

mengalami pengurangan 96.8 % pada penyinaran plasma selama 100 detik.



Gambar 1: Kurva lama waktu penyinaran plasma terhadap pertumbuhan *E. coli*.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada waktu penyinaran plasma 100 detik hanya 3,2% bakteri yang masih hidup. Terjadinya mekanisme dekontaminasi diduga karena lingkungan udara plasma menghasilkan cahaya ultraviolet, molekul oksigen aktif dan beberapa spesies radikal aktif yang mempunyai kemampuan untuk membunuh sel bakteri. Hal ini sesuai dengan pendapat Brimingham dan Hammerstrom (2000) yang menyatakan bahwa lingkungan udara plasma menghasilkan cahaya ultraviolet, molekul oksigen aktif dan beberapa spesies radikal aktif yang memungkinkan terjadinya mekanisme dekontaminasi.

Plasma lucutan pijar korona merupakan sumber ion. Penyinaran berkas ion yang dihasilkan plasma ke dalam suatu bahan dapat merubah struktur mikro bahan, sehingga merubah sifat-sifat fisik dan kimia bahan tersebut. Pernyataan ini sesuai dengan pendapat Laroussi (2000) yang menyatakan bahwa mikroorganisme yang terkena plasma mengalami kebocoran materi internal. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada membran terluar sel juga mengalami kebocoran oleh plasma. Kerusakan membran terluar ini akan

mengakibatkan mikroorganisme mudah diserang oleh lucutan reaktif plasma. Parker (1997) mengemukakan bahwa setiap molekul reaktif tersebut mampu menurunkan dan merubah biopolimer seperti asam deoksiribonukleat (DNA) dan protein. Ion dapat berinteraksi dengan DNA sehingga menyebabkan pecahnya ikatan polimer. Ionisasi dan penurunan (degradasi) molekul penting dalam materi biologi seperti DNA dan protein enzim memicu terjadinya kematian sel bakteri.

Perbedaan pengurangan jumlah bakteri dari tiap-tiap penyinaran plasma diduga disebabkan oleh spesies ion aktif yang dihasilkan plasma lucutan pijar korona tidak seragam pada tingkat tenaga, arus dan laju ion aktif yang dihasilkan rendah untuk beberapa aplikasi (Montie, 2000). Selain itu, lucutan pijar korona yang terjadi di ujung-ujung jarum kurang serempak dan mempunyai intensitas yang berbeda-beda karena posisi antar elektroda yang tidak benar-benar tegak lurus.

Irradiasi UV dapat membunuh bakteri secara efektif. Spektrum cahaya dengan intensitas tinggi mempunyai pengaruh yang

paling utama dalam kematian sel. Irradiasi UV ini dapat menyebabkan kerusakan DNA. Basa purin dan pirimidin sebagai materi dasar DNA menyerap radiasi UV yang terbanyak, dan penyerapan maksimum untuk DNA dan RNA terjadi pada panjang gelombang UV 260 nm (Anderson, 2000). Gangguan pada DNA ini dapat menyebabkan kematian sel. Penyinaran UV juga dapat menyebabkan beberapa efek kerusakan lain seperti aliran ion yang abnormal, peningkatan permeabilitas membran dan depolarisasi membran sel.

Perbandingan Teknik Dekontaminasi Plasma dengan Penyinaran UV

Tabel 1. Perbandingan teknik dekontaminasi plasma dengan sinar ultraviolet (UV)

| Dekontaminasi plasma ¹⁾ | Dekontaminasi sinar UV ²⁾ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> Energi = $0,21 \text{ mJ/cm}^2$ tegangan 3 kV <i>E. coli</i> $3,1 \times 10^7$ disinari selama 100 detik menjadi $0,1 \times 10^7$ bakteri. | <ul style="list-style-type: none"> Energi = 16 mJ/cm^2 <i>E. coli</i> 5×10^8 disinari selama 60 detik menjadi 2×10^4 bakteri. |

Sumber : 1) Penelitian ini

2) McDonald (2000)

Energi dekontaminasi plasma jauh lebih kecil dibanding dekontaminasi sinar UV. Penelitian McDonald (2000) menunjukkan bahwa penyinaran sinar UV selama 60 detik yang membutuhkan energi sebesar 16 mJ/cm^2 dapat mengakibatkan pengurangan jumlah *E. coli* sebesar 99,99%.

Perbandingan energi (E), waktu penyinaran (t) dan selisih jumlah bakteri (ΔB) antara dekontaminasi plasma dengan sinar UV disajikan dalam Tabel 4.2. Dekontaminasi *E. coli* dengan plasma pada penelitian ini

Perbandingan teknik dekontaminasi plasma pada tekanan atmosfer dengan dekontaminasi sinar UV dapat dilihat pada Tabel 1. Dekontaminasi plasma pada penelitian ini dilakukan dengan tegangan ambang 3,0 kV. Cawan petri yang digunakan berdiameter 10 cm. Energi plasma yang digunakan tiap satuan luas permukaan adalah $0,21 \text{ mJ/cm}^2$. Jumlah rata-rata *E. coli* mula-mula $3,1 \times 10^7$. Jumlah bakteri tersebut berkurang menjadi $0,1 \times 10^7$ setelah disinari plasma selama 100 detik. Disimpulkan bahwa dengan penyinaran plasma selama 100 detik jumlah bakteri berkurang sebesar 97,32 %.

membutuhkan energi yang sangat kecil dibandingkan dengan dekontaminasi sinar UV ($0,013$ vs 1). Sangat disayangkan bahwa sampai laporan ini dibuat belum ditemukan pembandingan untuk teknik dekontaminasi sinar UV dengan energi yang sama bagi teknik dekontaminasi plasma. Apabila energi yang diberikan pada kedua teknik dekontaminasi tersebut sama maka hampir dapat dipastikan bahwa dekontaminasi dengan plasma jauh lebih baik dibanding dengan dekontaminasi UV, baik ditinjau dari lama penyinaran maupun jumlah bakteri yang terdekontaminasi.

Tabel 2. Perbandingan energi (E), waktu penyinaran (t) dan selisih jumlah bakteri (ΔB) antara dekontaminasi plasma dengan sinar UV

| $\frac{E_{\text{plasma}}}{E_{\text{uv}}}$ | $\frac{t_{\text{plasma}}}{t_{\text{uv}}}$ | $\frac{\Delta B_{\text{plasma}}}{\Delta B_{\text{uv}}}$ |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 0,013 | 1,667 | 0,060 |

SIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dilakukan uji dekontaminasi bakteri *E. coli* dengan plasma lucutan pijar korona pada tekanan

atmosfer. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa :

1. Penyinaran plasma pada tegangan ambang 3,0 kV dengan arus 1,5 mA dan jarak antar elektroda $\pm 0,4 \text{ cm}$

- dapat mengurangi jumlah bakteri *E. coli* yang ditanam pada medium Endo Agar (Merck) pada cawan petri.
2. Penyinaran plasma selama 100 detik dengan rata-rata jumlah bakteri yang datang $3,1 \times 10^7$ bakteri mengakibatkan bakteri berkurang menjadi $0,1 \times 10^7$ bakteri, jadi bakteri mengalami pengurangan 96,8 %.
 3. Teknik dekontaminasi bakteri dengan plasma menggunakan energi yang sangat kecil dibandingkan dengan teknik dekontaminasi sinar UV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmed, N.A., 1987, *Ion Plating Technology Development and Application*, John Wiley and Son, New York.
- [2] Anderson, John G., 2000, *Inactivation of Food-Borne Enteropathogenic Bacteria and Spoilage Fungi Using Pulsed-Light*, IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 28, No. 1, February 2000.
- [3] Atlas, R. and Richard, B., 1993, *Microbial Ecologi Fundamental and Applications*, 3th edition, Benjamin Cumming Publishing Company. Inc, California.
- [4] Black, J. G., 1999, *Microbiology Principles and Exporation*, Fourth Edition, Simon and Schuster/A Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- [5] Becker, Kurth H., 1995, *Surface-Wafe Sustained Plasma : Toward a Better Understanding of RF and Microwave Discharge*, ICPIG XII, New Jersey.
- [6] Brimmingham, J. G. and Hammerstrom, D. J., 2000, *Bacterial Decontamination Using Ambient Pressure Nonthermal Discharge*, IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 28, No. 1, February 2000.
- [7] Bu'lock, J. and Kristiansen, B., 1987, *Basic Biotechnology*, Academic Press Inc, London.
- [8] Dwidjosoeputro, 1989, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Djambatan, Malang.
- [9] Fardiaz, S., 1992, *Mikro Pangan I*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [10] Goldman, M. and Goldman, A., 1978, *Corona Discharge in Gaseous Electronics*, Edited by M. N. Hirsh and H. J. Oskam, Chapter 4. Academic, New York.
- [11] Guntoro, A. N., 1999, *Pengerasan Permukaan Baja Karbon Rendah dengan Pendoposisian Ion N2 melalui Metode Plasma Lucutan Pijar Korona pada Tekanan Kamar (1atm)*, Skripsi Fisika UNDIP, Semarang.
- [12] Herrmann, Hans W., 2002, *Decontamination of Chemical Biological Warfare (CBW) Agents Using an Atmospheric Pressure Plasma Jet (APPJ)*, Los Alomos National Laboratory, Los Alomos, NM, 21 Juni 2002.
- [13] Jawetz, E., Melnick, JI. and Adelberg, G.A., 1996, diterjemahkan oleh H. Tonang, *Mikrobiologi untuk Profesi Kesehatan Edisi 16*, EGC Penerbit Buku Kedokteran.
- [14] Konuma, M., 1992, *Film Deposition by Plasma Technique*, Springer-Verlag, Berlin.
- [15] Marr, G. V., 1967, *Photoionization Prosses in Gases*, Academic Press, New York.
- [16] Mc Donald, F. K., 2000, *Bacterial Decontamination Using Ambient Pressure Nonthermal Discharge*, IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 28, No. 1, February 2000.
- [17] Nur, M., 1998, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Makalah Stadium General, Jurusan Fisika Fakultas MIPA, UNDIP, semarang.
- [18] Parker, M. M., 1997, *Biology of microorganismis*, Eight Edition, Prentice Hall. Inc, New Jersey.

- [19] Pelczar, Michael, 1986, diterjemahkan oleh Adisumarto, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, UI-Press, Jakarta.
- [20] Sigmon, R. S., 1982, *Simple Approximation Treatment of Unipolar Space Charge Dominated Coronas : The Warburg Law and The Saturation Current, J Application Physics*, 53 (2), 891-898.
- [21] Tanenbaum, B. Samuel, 1967, *Plasma Physics*, Mc Graw- Hill Physical and Quantum Electronics Series Book Company, New York.
- [22] Tchobanoglous, G., 1991, *Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse*, 3th Edition, Metcalf and Eddy Inc, New York.
- [23] Volk, W. and Wheller, M., 1988, diterjemahkan oleh Markham, *Mikrobiologi Dasar*, Erlangga, Jakarta